

纯电动汽车驱动控制器研究与开发

赵轩¹,肖广朋¹,马建¹,汪贵平²

1. 长安大学汽车学院,西安 710064
2. 长安大学电子与控制工程学院,西安 710064

摘要 驱动控制器是电动汽车的核心部件,其性能的优劣直接关系着纯电动汽车的整车性能和传输效率。本文针对大中型纯电动汽车,研究开发了一款基于 Freescale S12 单片机的纯电动汽车驱动控制器。根据纯电动汽车的特殊要求和运行环境,给出驱动控制器总体设计方案,其中硬件电路包括电源模块电路、主控制器最小系统电路、信号调理模块电路、PWM 输出电路、数据通信模块电路和 IGBT 驱动模块电路等;控制策略采用模糊自整定 PID 控制策略。对安装该驱动控制器的纯电动汽车进行道路试验,试验表明,该驱动控制器能够满足车辆复杂的行驶工况,纯电动汽车具有较好的加速性能和良好的速度跟随性,满足相关国家法规要求,控制器适用于各类大中型纯电动汽车。

关键词 纯电动汽车;驱动控制器;Freescale S12 单片机;控制策略

中图分类号 U469.72

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2012.06.003

Development of the Driving Controller for Electric Vehicle

ZHAO Xuan¹, XIAO Guangpeng¹, MA Jian¹, WANG Guiping²

1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, China
2. School of Electronic and Control Engineering, Chang'an University, Xi'an 710064, China

Abstract The driving controller is the core component of electric vehicle, the performance of which has a direct effect on the performance and transmission efficiency of the electric vehicle. So in this paper a driving controller of electric vehicle based on Freescale S12 MCU is developed for large and medium-sized electric vehicles. An overall design program of driving controller is given according to the special requirements and operating environment of electric vehicle, among them the hardware circuit including the power supply module, the minimum system circuit of controller, the signal conditioning module circuit, the PWM output circuit, data communication module circuit and IGBT driving module circuit and so on; the fuzzy self-tuning PID control strategy is used. And a road test for the electric vehicle installed the driving controller is conducted, which indicates that the driving controller can meet the complex driving conditions, electric vehicle has better acceleration and good speed tracing and meets the relevant national regulations, therefore, the controller is applied to all types of large and medium-sized electric vehicles.

Keywords electric vehicle; driving controller; Freescale S12 MCU; control strategy

0 引言

随着汽车工业的高速发展,汽车保有量急剧增加,汽车工业所带来的能源短缺、环境污染和气候变暖等问题日益严重,汽车工业的发展面临能源、环境、气候三重压力^[1]。

电动汽车作为新能源汽车,在节约能源和环境保护等方面具有传统汽车无可比拟的优越性,如低能耗、低污染、低排

放、低噪声、高效率等优点,发展电动汽车能够有效地解决能源短缺和环境污染等问题,尤其是纯电动汽车的污染几乎为零^[2-4]。

驱动控制器是纯电动汽车的核心部件,驱动控制器的性能直接关系着纯电动汽车整车性能和传输效率。目前,国内纯电动汽车驱动控制器技术与工业发达国家相比还有一定

收稿日期:2011-12-19;修回日期:2012-02-18

基金项目:陕西省重点科技攻关计划项目(2001K10-G1)

作者简介:赵轩,博士,研究方向为电动汽车,电子信箱:zhaoxuan@chd.edu.cn

的差距;中国大多数电动汽车厂家使用的驱动控制器是原理比较简单、功能比较单一的电机控制器,与纯电动汽车驱动控制器存在很大差异;也有部分厂家使用国外产纯电动汽车驱动控制器。因此,研究和开发具有自主知识产权的大功率纯电动汽车驱动控制器尤为重要,本文针对大中型纯电动汽车,研发了一款性能优越、能够满足车辆复杂的行驶工况的基于 Freescale S12 单片机的纯电动汽车驱动控制器。

1 纯电动汽车驱动控制器设计要求

纯电动汽车驱动控制器是纯电动汽车驱动控制系统的核心部件,控制着储能元件的电能向汽车机械能的转换以及整车行驶状态,其性能优劣直接关系着整车驱动效率的高低以及整车的动力性和经济性,并且影响整车控制系统的性能。

纯电动汽车控制器不同于普通电机控制器,它具有瞬时代功率高、瞬时电流大、功率损失小等特点。因此,设计开发功能完备、性能良好的控制器是纯电动汽车开发过程的关键技

术之一^[5-8]。纯电动汽车对控制器有如下技术要求:

- (1) 具有对车辆异常信号的检测、跟踪、处理功能,保证车辆的行驶安全性。
- (2) 能够同时进行多路模拟、数字量信号采集,具有较高的信号采集速率。
- (3) 根据采集的车辆信息,能够实时、高速、精确的做出控制,实现车辆的快速响应性。
- (4) 易调试、可扩展,并且具有 EPROM,便于存储系统参数。
- (5) 具有宽电压工作范围,对电压适应性高。
- (6) 由于车辆运行环境多变,因此控制器应保证能在强振动、高噪声、高湿度、高温差、盐雾腐蚀、电磁干扰等恶劣环境下正常运行。

控制器的总体结构如图 1 所示,控制器由电源模块、Freescale S12 单片机、信号调理电路模块、数据通信电路模块(包括 CAN 通信接口电路和 RS232 通信接口电路)、PWM 输出电路模块和 IGBT 驱动电路模块组成。

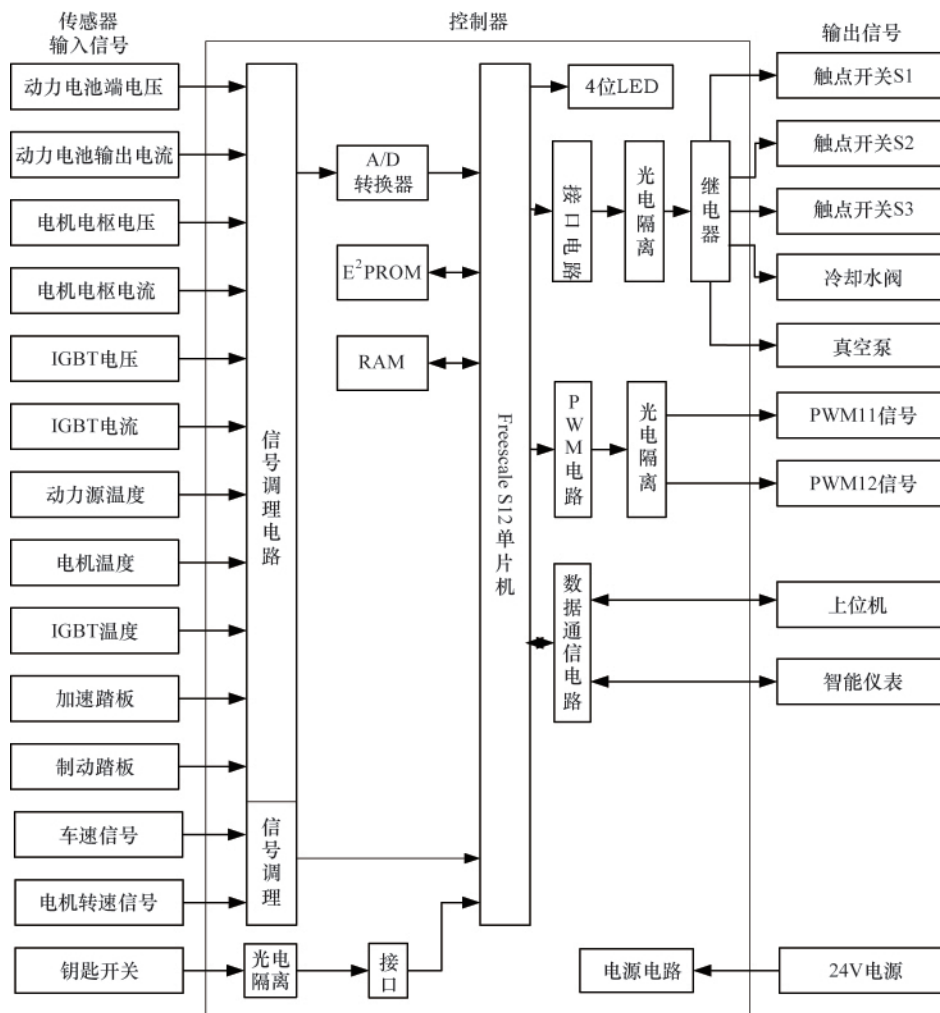


图 1 控制器的总体结构

Fig. 1 Overall structure of the controller

2 控制器硬件设计

控制器硬件设计主要包括电源模块设计、Freescale S12 单片机最小系统设计、信号调理电路设计、PWM 输出电路模块设计、数据通信接口电路模块设计和 IGBT 驱动电路模块设计。同时,为了使控制器具有较强的电磁兼容性,在对控制器的 PCB Layout 进行设计时,应对 Freescale S12 单片机最小系统的 Layout 设计和控制器地线设计进行抗干扰处理。

2.1 电源模块设计

控制器采用的是车载 24V 电源,由于控制器中的 Freescale S12 单片机、运算放大器、继电器及采集信号所用的传感器需要的电源电压不同,包括+15,-15,+12,+5,-5V 共 5 种不同电压值,控制器的电源模块通过 DC-DC 模块和三端稳压器将控制器的电源电压转换为上述 5 种不同电压值,以满足控制器对电源电压的要求。

2.2 Freescale S12 单片机最小系统设计

Freescale S12 单片机内部已经集成了 RAM、ROM、CPU 及 I/O,但仍需要最小系统电路支持。最小系统主要包括时钟电路、串口电路、BDM 接口、供电电路、复位电路和 PLL 电路 6 个部分^[9]。最小系统各部分功能如下:

- (1) 时钟电路给单片机提供 1 个外接的 16MHz 的石英晶振。
- (2) 串口的 RS-232 驱动电路可以实现 TTL 电平到 RS-232 电平的转换。
- (3) BDM 接口可以让用户通过 BDM 调试工具向单片机下载和调试程序。
- (4) 供电电路主要是为 Freescale S12 单片机提供+5V 电源。
- (5) 复位电路通过 1 个复位键给单片机 1 个复位信号。
- (6) PLL 电路即锁相环滤波电路。

2.3 调理电路设计

为了对纯电动汽车驱动控制器进行精确控制和实时监测,采用各类传感器对驱动控制器的参数进行实时采集,传感器包括电压传感器、电流传感器、电子油门(加速踏板)、制动踏板及速度传感器等。这些传感器输出信号的幅度和性质并不相同,为了将这些传感器输出的信号转换成标准的 0—5V 电压信号或 TTL 脉冲信号,控制器内部设计了信号调理电路。模拟量信号调理电路原理如图 2 所示,速度信号调理电路原理如图 3 所示。

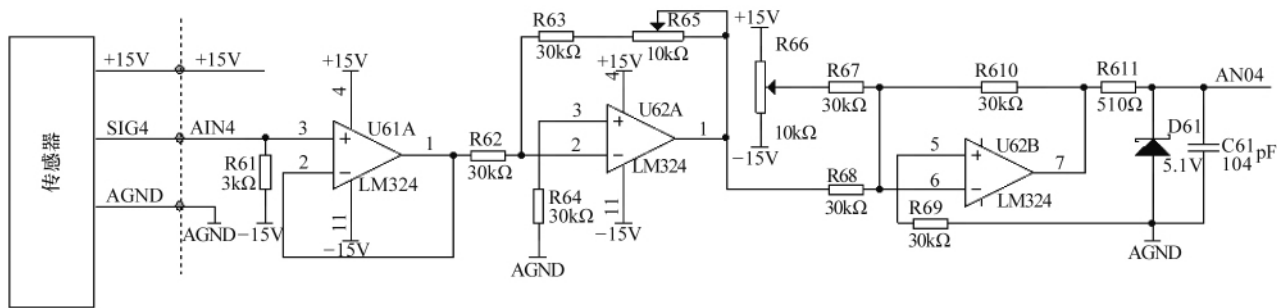


图 2 模拟量信号调理电路原理

Fig. 2 Analog signal conditioning circuit diagram

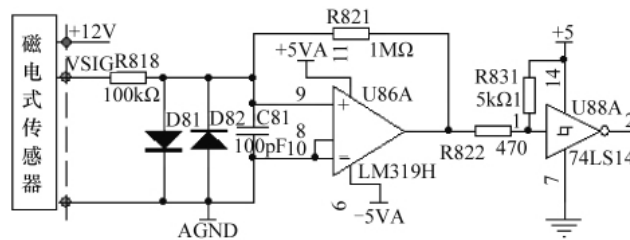


图 3 速度信号调理电路原理

Fig. 3 Speed signal conditioning circuit diagram

2.4 PWM 输出电路模块设计

纯电动汽车驱动模块需要具有驱动运行和制动能量回收两个功能,并且这两个功能不能同时作用,因此设计的纯电动汽车控制器 PWM 输出电路模块应能够输出两路 PWM 输出信号(PWM11、PWM12),并且两路 PWM 不能同时输出。一路 PWM 信号通过控制功率变换器(IGBT)的工作控制电机的驱动运行,另一路 PWM 信号通过控制功率变换器(IGBT)

的工作控制制动能量回收。为了避免两路 IGBT 同时打开导致驱动主回路短路,采用 2 个控制端(ZFXH0、ZFXL0)通过组合逻辑电路实现 PWM 输出信号的控制,组合逻辑电路真值表如表 1 所示。同时为了保证控制器的安全性,还需要在控制器过温、过压、过流等状态时对 PWM 信号进行封锁,控制器采用了两个控制端(CTRL00、CTRL01)同时利用具有异步清零作用的 D 触发器对 PWM 输出信号进行控制^[10]。PWM 输

表 1 组合逻辑电路真值表
Table 1 Combination logic truth table

ZFXH0	ZFXL0	PWM11	PWM12
0	0	0	0
0	1	PWM	0
1	0	0	PWM
1	1	0	0

出电路原理如图 4 所示。

通过真值表可以得到 PWM11 与 PWM12 的逻辑表达式为

$$PWM11 = PWM \cdot ZFXL0 \cdot \overline{ZFXH0} \quad (1)$$

$$PWM12 = PWM \cdot ZFXH0 \cdot \overline{ZFXL0} \quad (2)$$

2.5 数据通信接口电路模块设计

纯电动汽车控制器的数据通信接口主要有 RS232 通信

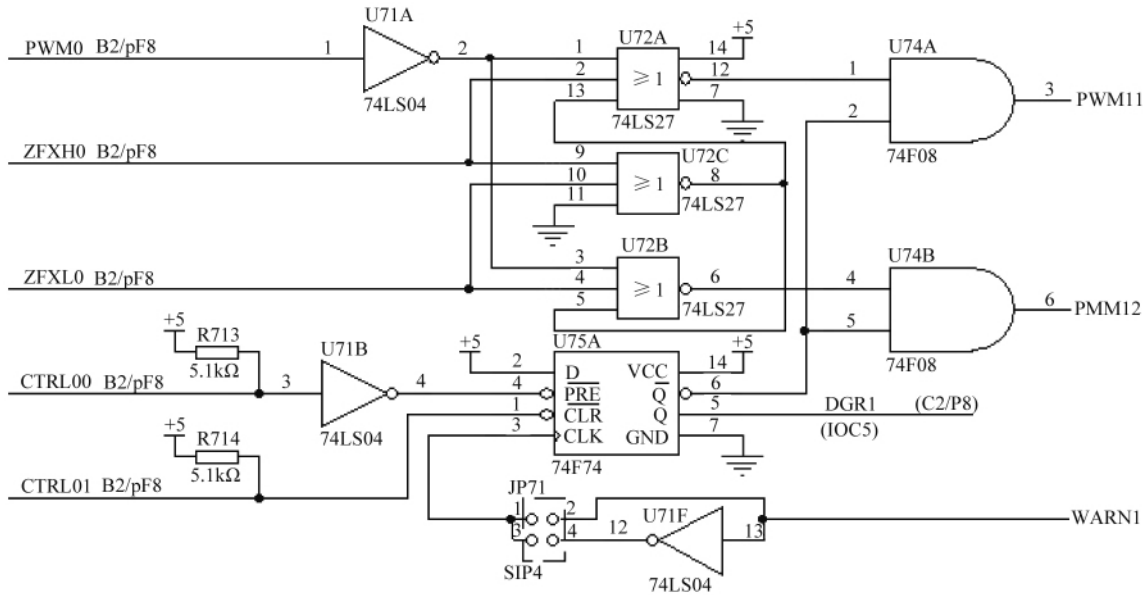


图 4 PWM 输出电路原理
Fig. 4 PWM output circuit diagram

和 CAN 总线通信两种,作用是控制器的调试和检测,以及控制器内部实时数据的传输与共享。Freescale S12 单片机最小系统中的串口电路 RS-232 驱动电路可以实现 TTL 电平到 RS-232 电平的转换,然后通过 9 芯串行电缆线和上位机进行通信即可对控制器进行调试和在线检测;Freescale S12 单片机内部集成了 CAN 总线控制器,为了提高 CAN 总线的抗干扰能力,CAN 总线的供电采用 5V 转 5V 的电源隔离模块。

2.6 IGBT 驱动电路模块设计

IGBT 驱动模块采用 Concept 公司产品的 2SD315AI,该模块集成了智能驱动、自检、状态反馈、DC/DC 电源隔离等功能,并且该模块具有驱动功能可靠、过流保护功能灵活可调、工作频率高、电气隔离电压高等优点。

IGBT 驱动模块有两种工作模式:直接模式和半桥模式。本文采用两个通道之间相互独立的直接模式。

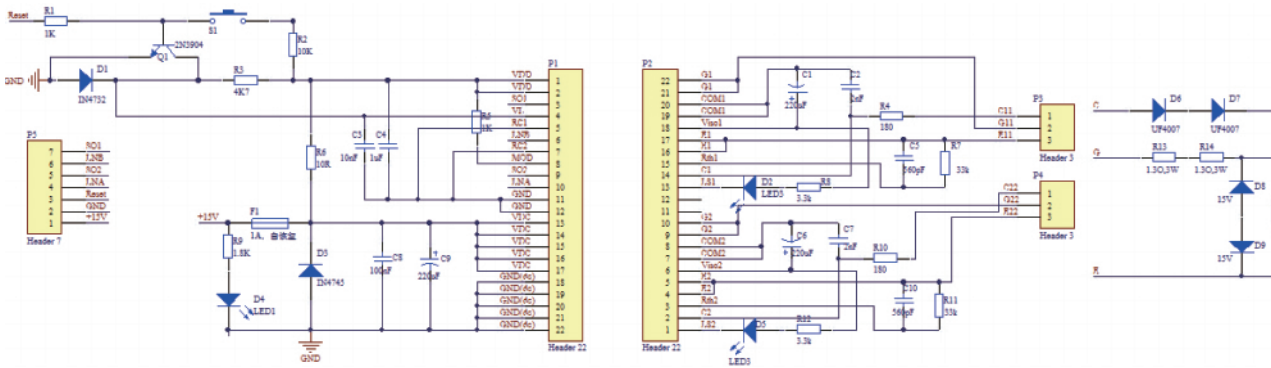


图 5 IGBT 驱动电路原理
Fig. 5 IGBT drive circuit diagram

IGBT 驱动电路原理图如图 5 所示,INA、INB 为驱动电路的输入端;VL/Reset 可以对逻辑电平进行选择,输入为高电平时,执行 Volatge Level 功能,输入为低电平时,对驱动模块进行复位;SO1、SO2 为驱动电路的故障输出端,对应于通道 1 和通道 2,当通道发生故障时,输出低电平。C1、G1、E1、C2、G2、E2 分别为驱动电路的输出端,分别接至 2 个 IGBT 的集电极 C、栅极 G、发射极 E,G 和 C 之间的电压为 IGBT 的驱动电压,+15V 使 IGBT 导通,-15V 使 IGBT 关闭;LS 和 Viso 之间接有发光二极管作为相应通道的工作指示灯,当通道正常工作时,指示灯亮,反之指示灯熄灭。电容 C2、C7 和电阻 R2、R11 决定过流保护的时间和电流值。

3 控制器软件设计

纯电动汽车行驶工况多变复杂,其运行过程是一个复杂的控制过程,控制器按照车辆的运行状态和行驶工况进行控制。因此,控制软件是纯电动汽车驱动控制器的核心。为了保证软件设计的可靠性、可维护性和高效运行,控制器软件设计应遵循软件工程的思想,采用模块化设计。

控制器主程序流程图如图 6 所示,上电后首先对系统实施初始化和自检,然后管理层根据驾驶员的操作意图,结合车辆状态及环境状况进行工况判断,然后对纯电动汽车分工况控制,并完成实时通信等工作。

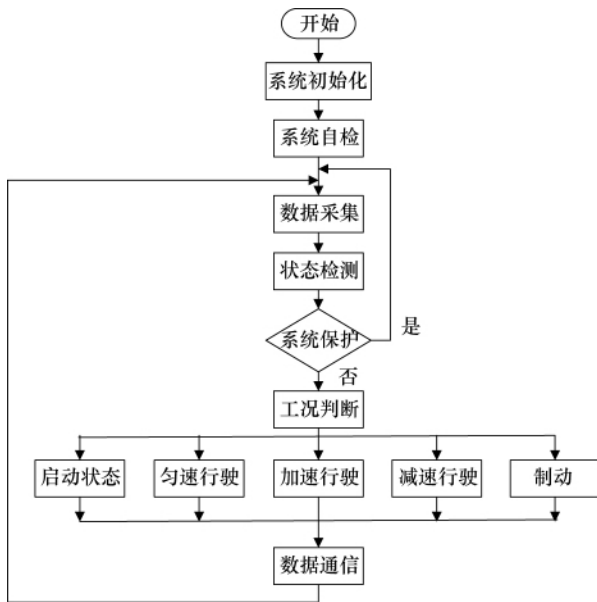


图 6 控制器软件主程序流程图

Fig. 6 The main program flowchart of the controller software

由于纯电动汽车行驶工况多变复杂,因此控制器的控制策略采用模糊自整定 PID 控制策略,模糊 PID 控制器将 PID 控制和模糊控制有机地结合起来,构成模糊自整定 PID 控制器。利用模糊技术对 K_p, K_i, K_d 进行在线调整,以满足不同工况下对控制器参数的自整定。这样既能改善模糊控制器的稳

态性能,又能在一定程度上提高 PID 控制器的鲁棒性和适应性^[11-15]。模糊 PID 控制器原理如图 7 所示。

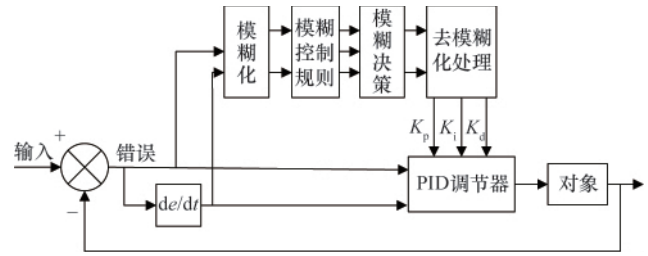


图 7 模糊 PID 控制器原理

Fig. 7 Schematic diagram of fuzzy PID controller

4 实验结果与分析

纯电动汽车是在骊山牌 LS6600C1 中型客车的基础上改造的,驱动电机采用包头永安永磁电机研究所生产的 ZYCD-45 电机,蓄电池采用淄博明泰电器科技有限公司生产的 6D-240Ah 铅酸电池,功率变换器采用英飞凌公司生产的 FF800R12KF4 型 IGBT,驱动控制器采用长安大学电动汽车研究中心自主研发的纯电动汽车驱动控制器,主控制器实物图如图 8 所示,驱动控制器实物图如图 9 所示。

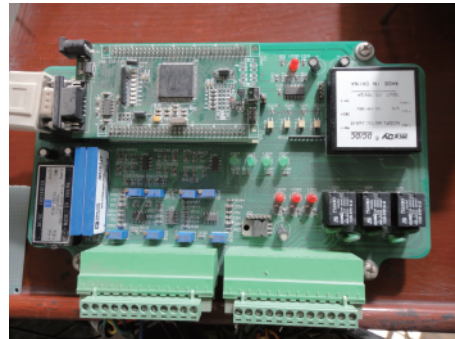


图 8 主控制器实物

Fig. 8 Main controller

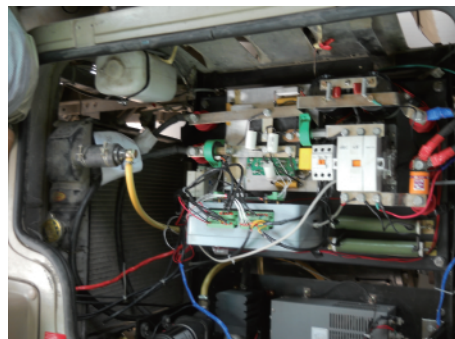


图 9 驱动控制器实物

Fig. 9 Driving controller

对纯电动汽车进行实车道路试验,试验数据如表 2 所示。

表 2 纯电动汽车道路试验数据表
Table 2 Electric vehicle road test data table

最大续航里程 /km	最高车速 /(km·h ⁻¹)	0—100km/h 加速 时间/s
219	109	53.4
最大爬坡度/%	驱动模块最大电流/A	驱动模块最大电压/V
30	300A	288
驱动模块最大 功率/kW	驱动模块 效率/%	蓄电池 电压/V
80	92.4	288

对试验数据进行分析,认为该纯电动汽车具有动力性强和续航里程长的特点,驱动控制器具有功率高、电流大、电压大、功率损失小等特点,能够满足纯电动汽车对驱动控制器的要求。

5 结论

本文针对大中型纯电动汽车研究开发了一款大功率驱动控制器,试验表明该驱动控制器能够满足车辆复杂的行驶工况,具有输出电压高、输出电流大、输出功率大、抗干扰能力强、抗振动、防腐蚀、防水、防尘等特点。控制器具有响应快、跟随性好等优点,使纯电动汽车具有较好的加速性以及良好的速度跟随性,并且纯电动汽车各项性能均满足相关法规要求,因此适用于各类大中型纯电动汽车。

参考文献 (References)

[1] 孙重祥, 曾志斌. 电动汽车的基本知识[J]. 实用汽车技术, 2006(2): 7-8.
Sun Chongxiang, Zeng Zhibin. *Practical Automotive Technology*, 2006(2): 7-8.

[2] 边耀璋. 汽车新能源技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.
Bian Yaozhang. *New energy technology of automobile*[M]. Beijing: China Communications Press, 2003.

[3] Rahman S, Castro A D. Environmental impacts of electricity generation: A global perspective [J]. *IEEE Transactions on Energy Conversation*, 1995, 10(2): 307-313.

[4] Chan C C. Present status and future trends of electric vehicles [C]. 2nd International Conference on Advances in Power System Control,

Operation and Management, APSCOM-93, Hong Kong, 7-10 Dec 1993, 1: 456-469.

[5] 邹国棠, 程明. 电动汽车的新型驱动技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
Zou Guotang, Cheng Ming. *Electric vehicle driving technology* [M]. Beijing: China Machine Press, 2010.

[6] 徐国凯, 杜元虎, 王培昌. 电动汽车的驱动与控制[M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
Xu Guokai, Du Yuanhu, Wang Peichang. *Electric vehicle driving and controlling*[M]. Beijing: Electronic Press, 2010.

[7] Chan C C, Wong Y S. The state of the art of electric vehicles technology [C]. IPEMC 2004, The 4th International Power Electronics and Motion Control Conference, Xi'an, 14-16 Aug, 2004, 1: 46-57.

[8] 孙逢春. 电动汽车发展现状及趋势[J]. 科学中国人, 2006(8): 38-40.
Sun Fengchun. *Scientific Chinese*, 2006(8): 38-40.

[9] 孙同景. Freescale 9S12 十六位单片机原理及嵌入式开发技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
Sun Jingtong. *Freescale 9S12 Sixteen bit MCU principle and the development of embedded technology* [M]. Beijing: China Machine Press, 2008.

[10] 段哲民, 范世贵. 信号与系统[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1997.
Duan Zheming, Fan Shigui. *Signals and systems*[M]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University Press, 1997.

[11] 赵国柱, 魏民祥, 杨正林. 基于制动稳定性要求的 ADVISOR 再生制动模块的开发[J]. 机械与电子, 2007(6): 10-14.
Zhao Guozhu, Wei Minxiang, Yang Zhenglin. *Machinery & Electronics*, 2007(6): 10-14.

[12] Wang Liangmo, Bai Weijun. Development and simulation of electric vehicle based on ADVISOR[J]. *Journal of Southeast University: English Edition*, 2006, 22(2): 196-199.

[13] Andrew C B, Ali E. ADVISOR-based model of a battery and an ultra-capacitor energy source for hybrid electric vehicles [J]. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2004, 53(1): 119-205.

[14] 张翔, 张炳力, 钱立军. 电动汽车仿真软件进展 [J]. 系统仿真学报, 2004, 16(8): 1621-1623.
Zhang Xiang, Zhang Bingli, Qian Lijun. *Journal of System Simulation*, 2004, 16(8): 1621-1623.

[15] 李舒欣, 曹秉刚, 白志峰. 电动汽车再生制动的模糊 PI 控制实验研究[J]. 电气技术, 2006(1): 52-54.
Li Shuxin, Cao Binggang, Bai Zhifeng. *Electrical Technology*, 2006(1): 52-54.

(责任编辑 朱宇)

· 科学共同体介绍 ·

中国地震学会

中国地震学会 (Seismological Society of China) 于 1979 年 7 月 16 日在北京召开筹委会第一次会议,并于 1979 年 11 月 21 日正式成立。顾功叙任第一届理事会理事长,陈鑫连任秘书长。**陈运泰、丁国瑜、陈顺、张国民** 历任学会理事长。

中国地震学会是由我国从事地震科技研究和参与我国防震减灾事业的科技工作

者自愿结成的、依法登记成立的、具有法人资格的、公益性的、全国性的学术团体,是发展我国地震科技事业的一支重要社会力量。学会挂靠中国地震局地球物理研究所,接受业务主管单位中国科学技术协会、社团登记管理机关国家民政部的业务指导和监督管理。学会目前设有 4 个办事机构和 19 个专业委员会,共有注册会员 2593 名,永久会员

1495 名。

中国地震学会编辑出版《地震学报》(中、英文版)、《地震地磁观测与研究》、《国际地震动态》、《地震》、《地震地质》等学术期刊。

2010 年 10 月 16 日,中国地震学会第 8 次全国会员代表大会在浙江宁波召开, **陈运泰** 当选理事长, **郝记川** 任秘书长。

(责任编辑 徐子政(实习生),秦政)